

УДК 519.6: 612.172.4

doi:10.20998/2413-4295.2018.26.20

## MATLAB МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА ЭКГ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

**М. А. ШИШКИН<sup>1</sup>\*, О. А. БУТОВА<sup>1</sup>, Л. В. ФЕТЮХИНА<sup>1</sup>, Е. Б. АХИЕЗЕР<sup>2</sup>,  
О. И. ДУНАЕВСКАЯ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> кафедра промышленной и биомедицинской электроники

<sup>2</sup> кафедра компьютерной математики и анализа данных

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА

\*email: m.shishkin1966@gmail.com

**АННОТАЦИЯ** Предложен метод построения Matlab/Simulink модели генератора электрокардиографического сигнала на основе анализа частотного спектра и формирования соответствующих компонент, реализующих суперпозицию сигналов необходимых гармонических составляющих. Целью работы является синтез такого блока с изменяемыми параметрами, который бы мог использоваться в качестве источника сигнала при имитационном моделировании различных кардиологических систем. В ходе работы были получены решения, позволяющие генерировать кардиографический сигнал наиболее часто встречающихся патологий, моделировать вариабельность сердечного ритма и влияние наиболее распространенных помех.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование; Matlab; электрокардиосигнал; дискретное преобразование Фурье; вариабельность сердечного ритма.

## MATLAB ECG SIGNAL GENERATOR MODEL BASED ON FREQUENCY TRANSFORMATION

**M. SHYSHKIN<sup>1</sup>, O. BUTOVA<sup>1</sup>, L. FETIUKHINA<sup>1</sup>, O. AKHIEZER<sup>2</sup>, O. DUNAIEVSKA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Department of Industrial and Biomedical Electronics

<sup>2</sup> Department of Computer Mathematics and Data Analysis

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** Electrocardiographical analysis remains an important component of the cardiovascular pathologies diagnostics. There are a number of various methods cardio-signal processing and analysis. It is beneficial to use artificial cardio-signals in addition to traditional ones. It makes it possible to set time and level parameters to simulate a broad spectrum of the normal and pathological cardiovascular conditions. This article provides the review of the existing cardio-signal simulation models. It is demonstrated that is expedient to use dynamic models that allow generation of the artificial cardio-signals with certain features to prove the effectiveness of the cardio-signal processing methods. The imitational electrocardiographical signal generator model that uses Fourier transform spectral component coefficients has been suggested. The described below model has been created using Matlab/Simulink. It was determined that for the most cases it is possible to shape the imitational signal using the first fifty harmonics by utilizing a signal superposition of the mandatory harmonic components. The results of the simulation shown below proved the concept. Matlab model allows to obtain an artificial ECG signal as well as to simulate heart rate pathological conditions, heart rate variability and impact of the most common distortions. Further improvement of the imitational model is possible in the area of extending functionality as a result of changing time and level parameters of certain ECG fragments as well as the most frequently observed pathological conditions.

**Keywords:** simulation modeling; Matlab; an electrocardiogram; discrete Fourier transform; heart rate variability.

### Введение

Электрокардиограмма (ЭКГ) является самым распространенным методом диагностики патологий сердца. Сигналы ЭКГ нестационарны по своей природе, что обуславливает их недетерминированность, разнообразие, изменчивость, непредсказуемость и подверженность многочисленным видам помех. Известно множество алгоритмов для анализа, измерения, фильтрации и сжатия этих сигналов. Большинство методов трудно проверить, поскольку реальные сигналы ЭКГ искажаются разными типами шумов. Для проверки

этих методов целесообразно использовать как реальные, так и синтезированные ЭКГ. Использование синтетических сигналов ЭКГ позволяет имитировать параметры ЭКГ и широкий диапазон различных патологий, а также сравнить различные методы обработки сигналов. В сравнении с реальными сигналами ЭКГ это дает возможность применять и оценивать методы либо на реалистичном и бесшумном ЭКГ, или на искаженных сигналах. Это позволит врачам сравнивать и оценивать различные методы и выбрать те, которые наилучшим образом соответствуют их требованиям.

### Цель работы

Целью данной работы является синтез генератора электрокардиографического сигнала средствами пакета имитационного моделирования Matlab/Simulink, в основе которого лежит преобразование Фурье идеальной кривой синусового ритма ЭКГ.

### Способы моделирования искусственной ЭКГ

При построении электрокардиологических систем распознавания и анализа ЭКГ могут использоваться синтетические модели ЭКС, принадлежащие к разным классам патологий. Существует различные подходы к построению моделей генерации искусственных ЭКГ. Как правило, в основе математических моделей ЭКГ лежит описание временной или частотной области с использованием различных методов.

Условно математические модели генерирования искусственной ЭКГ можно разделить следующим образом:

1. Модели, созданные по известным типичным отклонениям морфологических признаков электрокардиограмм. Аппроксимация элементов ЭКГ осуществляется полиномиальными функциями [1, 2], линейными и квадратичными функциями [3-5]. Подобные модели описывают статистическую модель ЭКГ, которая разделена на участки и основные сегменты в любой момент времени. Чаще всего описывается каждый сегмент или зубец ЭКГ [6], но не всегда этого достаточно для описания всех особенностей ЭКГ-сигнала, что не позволяет моделировать проявления на ЭКГ некоторых патологических состояний сердечно-сосудистой системы.

Более реалистичную форму кардиосигнала обеспечивают модели, в которых отдельные элементы аппроксимируются гауссовскими функциями. В работах [7-9] рассмотрены варианты описания и аппроксимации ЭКГ-сигнала с применением гауссова импульса и кусочно-заданной функции. Однако, такое математическое моделирование имеет ограничения, в силу невозможности моделирования сердечных циклов в условиях действия внутренних и внешних возмущений. В [10] предложена модель с заданными амплитудно-временными характеристиками информативных фрагментов. Базовая модель формируется по эталону, который описывается суммой несимметричных гауссовых функций, моделируя последовательности искусственных кардиоциклов.

2. Модели, основанные на методах математического представления ЭКГ как нелинейной динамической системы. Подобная система описана в [11].

3. Модели на основе систем уравнений, моделирующих электрическую активность сердца, т.н. динамические модели.

Подобные системы позволяют моделировать сигнал ЭКГ в одномерных и двумерных плоскостях. Построение по одномерному сигналу его фазовой плоскости рассмотрено в [12]. Применение такого подхода позволяет анализировать как амплитудные, так и скоростные параметры любых элементов ЭКГ, и обнаружить в них отклонения по сравнению с традиционным анализом ЭКС во временной области.

В дальнейшем это получило развитие в интерполяционных моделях ЭКГ, описанных в работах [13, 14]. В основе этих работ лежит модель формирования морфологии *PQRST*-комплекса, описанная в работах [15, 16] и основанная на системе трех простых дифференциальных уравнений. Она генерирует траекторию в трехмерном пространстве. Такая математическая модель дает возможность генерировать сигналы реалистичной формы с равномерным изменением продолжительностей циклов ЭКГ, однако не учитывает, что при изменении частоты сердечных сокращений происходят неодинаковые изменения области определения отдельных фрагментов ЭКГ.

В [17] рассмотрена модель на основе Фурье-анализа фазовой плоскости, полученной из двух синхронизированных кардиосигналов. В работе [18] предложен метод описания динамической системы кардиосигнала путем построения трехмерного фазового пространства и уравнений, которые описывают траекторию движения точек в этом пространстве.

В дальнейшем другие авторы в качестве математической модели использовали динамические модели на основе различных математических методов [19, 20]. В этом случае кривая ЭКГ представляет собой траекторию, определяемую дифференциалом уравнения, связанного с соответствующей динамической системой.

В статье [21] используются диагностически значимые численные и геометрические параметры, достаточные для того, чтобы генерируемый ЭКГ сигнал был интерпретирован как биомедицинский сигнал с важными диагностическими интервалами (*QRS*, *QT*, *PR*).

Большинство рассмотренных моделей искусственных ЭКГ-сигналов представляет собой результат математического моделирования, в основе которого лежат разные подходы и представления кардиосигнала или его сегментов. В ряде случаев, для реализации таких многофакторных подходов используются различные среды программирования и пакеты прикладных программ.

Например, для синтеза кардиосигнала динамической модели в [18] был разработан программный комплекс с использованием профессиональной интегрированной среды разработки программного обеспечения *Microsoft*

*Visual Studio* 2010 и языка программирования *Microsoft C#*.

В [22] произведено сравнение моделирования ЭКГ-сигнала на основе базиса Фурье и Уолша в пакете прикладных программ *Mathcad*. Были рассчитаны спектральные коэффициенты Фурье и Уолша и сделан вывод, что реализация алгоритмов анализа на базисе Уолша является более перспективным для исследования вариабельности сердечного ритма (BCP),

В работе [23] представлена программа и программно-аппаратный комплекс на основе среды программирования *LabVIEW*, который позволяет генерировать ЭКГ в норме с возможностью регулировать диагностические параметры морфологии *PQRST*-комплекса и наложение некоторых шумов и помех.

В [24] *Matlab* модель реализует математические функции с учетом психологических данных и представляет алгоритм, который генерирует реалистичные синтетические сигналы ЭКГ. Для преобразования сигнала ЭКГ в частотную область используется метод Уолша.

Представленная динамическая модель *ECGSYN* в [25], которая реализована с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом в *Matlab*, *Cu*, *Java*, точно воспроизводит основные особенности электрокардиограммы человека, включая BCP интервалы *RR* и *QT*-интервалы.

Программа пакета *Matlab* [26] способна генерировать синтетические электрокардиограммы в течение 10 секунд. Для этого вводится значение сердечного ритма (в минуту), т.е. частота сердечных сокращений, и желаемое пиковое напряжение в милливольт. Однако, такая программа может быть использована для построения только стандартного ЭКГ-сигнала.

К имитационному моделированию, кроме интерполяционных моделей [13, 14], также можно отнести модель обработки сигнала ЭКГ для анализа респираторной синусаритмии, реализованной в *Matlab/Simulink* [27]. Показано, что возможна обработка сигнала ЭКГ в *Simulink* с использованием измерительной карты *HUMUSOFT AD512* с выборкой частоты 1 кГц, т.е. без специального моделирования кардиосигнала. Модель позволяет обнаружить *QRS*-комплекс, а также вычисляет параметры BCP во временной и частотной областях.

Усовершенствованная динамическая модель сердца, имитирующая ЭКГ в условиях внутренних и внешних возмущений представлена в исследовании [28].

Систематизация результатов обзора моделирования ЭКГ сигнала дает основание считать, что существующие математические модели позволяют синтезировать кардиосигнал реалистичной формы «идеализированной» ЭКГ. Следует отметить, что не все модели имеют возможность моделировать

кардиосигнал с электрокардиографическими признаками сердечных патологий и в условиях действия внутренних и внешних возмущений.

В данной статье предлагается использовать математическую модель, основанную на традиционном преобразовании Фурье, при имитационном моделировании электрокардиограмм реалистичной формы в пакете *Matlab/Simulink*.

### Реализация имитационной модели генератора ЭКГ

Синтез имитационной модели генератора электрокардиографического сигнала состоял в выполнении нескольких последовательных задач.

Первой задачей являлось **получение числовой последовательности временных выборок идеальной ЭКГ** с заданной дискретизацией. Для решения этой задачи использовались данные открытых кардиографических библиотек *PhysioNet* [29]. Положительным моментом использования данной базы являлось большое количество кардиограмм, представленных в систематизированном виде. Однако, реальное использование этих данных без предварительной обработки, было весьма затруднительно. Это обусловлено, в первую очередь, избыточным для синтеза генератора объемом данных и необходимостью выделения из всего массива лишь одного из подходящих для формирования идеальной кривой кардиоцикла.

Альтернативным решением этой задачи являлась оцифровка графических файлов с изображением кардиоцикла. В этом случае нет необходимости предварительной обработки временных выборок ЭКГ и приведения периода дискретизации к удобному для использования (256, 512, 1024 выборки за период кардиоцикла).

Оцифровка проводилась с помощью утилиты *GraphToDigit*. Интерфейс утилиты с загруженным изображением кардиосигнала представлен на рис. 1.

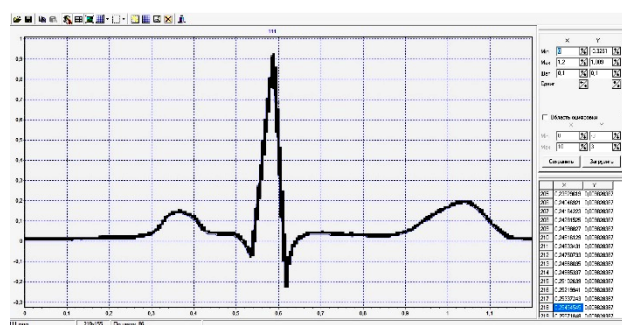


Рис. 1 – Интерфейс *GraphToDigit* с оцифрованной ЭКГ

Таким образом, были получены массивы временных выборок для 256, 512 и 1024 точек за кардиоинтервал.

Известно, что преобразование Фурье позволяет представить непрерывную функцию (сигнал), определенную на отрезке  $\{0, T\}$  в виде суммы бесконечного числа (бесконечного ряда) тригонометрических функций (синусоид и/или косинусоид) с определёнными амплитудами и фазами, также рассматриваемых на отрезке  $\{0, T\}$ .

Выражение для дискретного преобразования Фурье выглядит следующим образом:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{N/2} \left[ a_k \cos(2\pi \frac{k}{T} x) + b_k \sin(2\pi \frac{k}{T} x) \right], (1)$$

где  $N$  – количество отсчетов (выборок);  $k$  – номер тригонометрической функции (номер гармоники);  $T$  – отрезок, где функция определена (длительность сигнала);  $a_k$ ,  $b_k$  – амплитуды косинусной и синусной составляющих  $k$ -ой гармоники.

Таким образом, следующей задачей являлось **нахождение коэффициентов  $a_k$  и  $b_k$  спектральных компонентов Фурье образа сигнала ЭКГ.**

Данные предварительного вычисления выполнялись с использованием среды *MathCad*.

Исходными данными для вычислений были приняты: период ЭКГ сигнала  $T = 1$  с. (это соответствует частоте сердечных сокращений 60 уд./мин.); число выборок за период  $N = 1024$ .

Таким образом, частота Найквиста при таких исходных данных будет составлять:

$$f_H = \frac{N}{2 \cdot T} = 512 \text{ Гц.}$$

В результате вычислений были получены два массива коэффициентов, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Массивы коэффициентов  $a_k$ ,  $b_k$

$b_k =$	$a_k =$
0	0.099
$-1.824 \cdot 10^{-3}$	-0.122
0.041	-0.021
-0.053	0.069
$-5.831 \cdot 10^{-3}$	-0.062
0.038	0.069
0.012	-0.07
-0.065	0.027
0.067	0.027
-0.038	-0.052
$5.96 \cdot 10^{-3}$	0.059
0.023	-0.053
-0.047	0.03
0.053	$5.395 \cdot 10^{-4}$
-0.039	-0.028
...	...

Проверка полученных коэффициентов путем восстановления исходной временной выборки ЭКГ показала идентичность исходной (реальной) и синтезированной кривых (рис. 2).

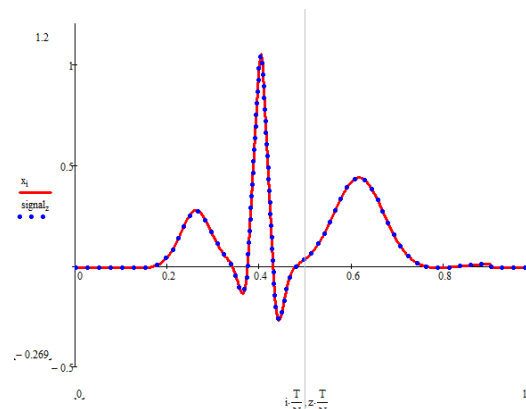


Рис. 2 – Вид исходной и синтезированной в *Mathcad* сигналов ЭКГ

Оценку вклада каждой из гармонических составляющих можно выполнить, проанализировав график распределения спектра, представленного на рис. 3.

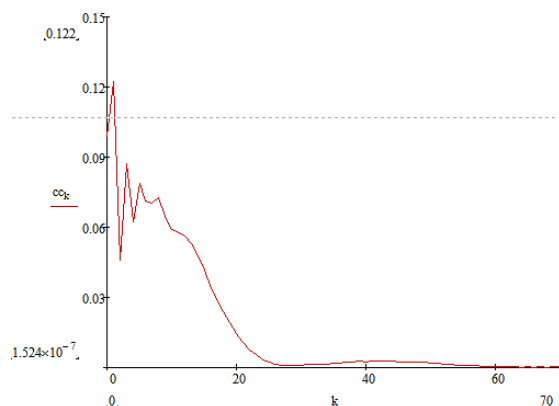


Рис. 3 – Спектральный состав ЭКГ

Результаты оценки показали, что наибольший вклад в ЭКГ сигнал вносят первые 50 гармоник. Следовательно, при реализации имитационной модели генератора ЭКГ можно ограничиться первыми 30-50 гармониками.

Заключительный этап состоял в **синтезе имитационной модели генератора ЭКГ сигнала**, реализованной с помощью библиотек *Matlab/Simulink*, которая включает в себя набор параллельно соединенных блоков, позволяющих генерировать сигналы синусоидальной и косинусоидальной формы с заданными амплитудами и одинаковой частотой для каждой пары синус-косинус. Это дает возможность формировать имитационный сигнал каждого из слагаемых ряда Фурье согласно (1).

На рис. 4 представлен внешний вид *Simulink* модели такого единичного генератора гармоники.

На входы  $a_k$  и  $b_k$  подаются коэффициенты из массивов согласно таблице 1. Значение частоты подается на вход *Freq* как произведение базовой частоты, равной периоду кардиосигнала с номером гармоники.

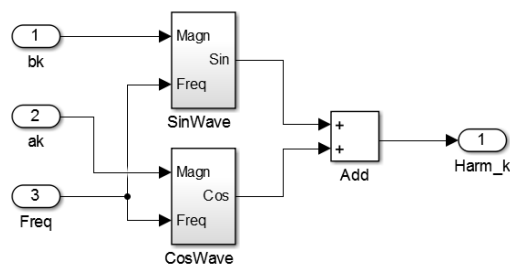


Рис. 4 – Генератор сигнала гармоник

На рис. 5 представлен фрагмент реализации имитационной модели генератора: подключение единичных генераторов для трех гармоник сигнала и дальнейшее суммирование полученных сигналов.

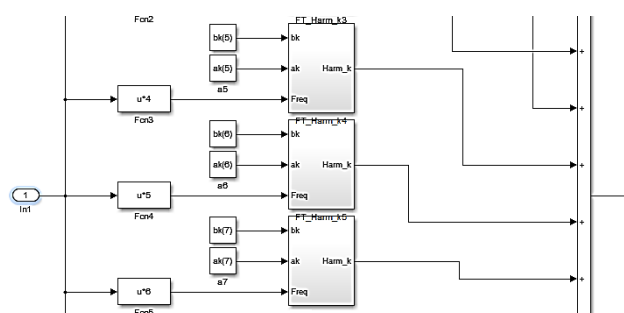


Рис. 5 – Фрагмент реализации имитационной модели генератора

При выполнении имитационного моделирования были проанализированы формы генерируемого ЭКГ-сигнала для 10, 20, 30, 40 и 50 первых гармоник. Результаты представлены на рис. 6.

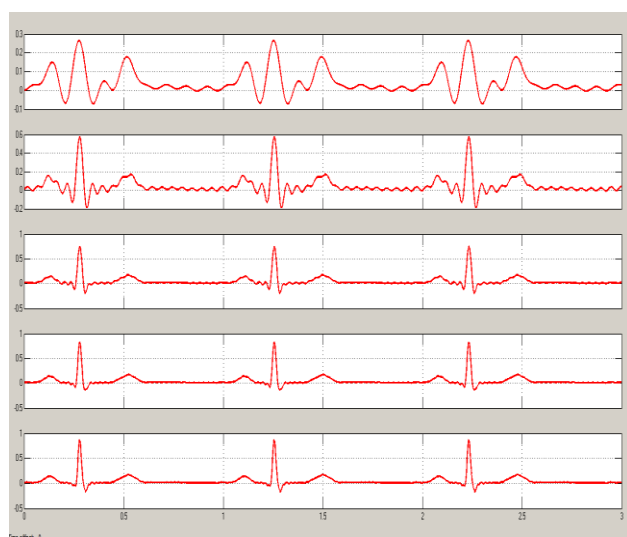


Рис. 6 – Результаты имитационного моделирования для различного количества гармоник.

Результаты имитационного моделирования показали, что для генерации качественного ЭКГ сигнала необходимо минимум 40 гармоник сигнала.

С использованием реализованной имитационной модели генератора ЭКГ сигнала были получены кривые ЭКГ с изменением частоты сердечного ритма, а также зашумленного сигнала. Вид данных сигналов представлен на рисунке 7.

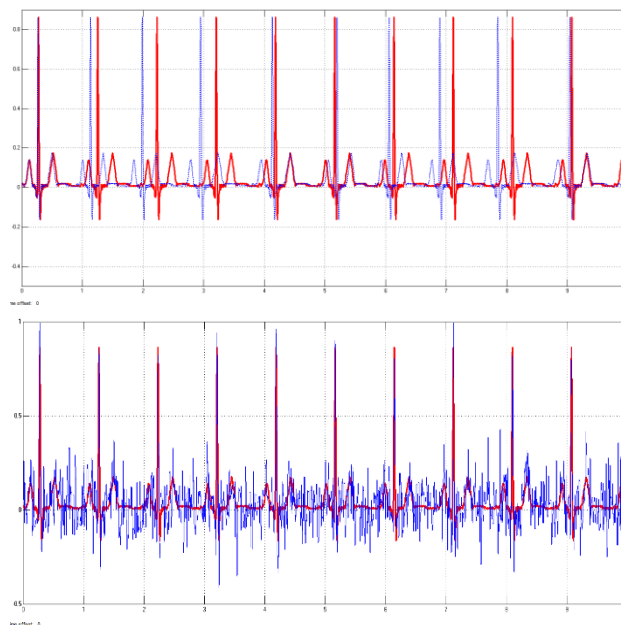


Рис. 7 – Сигнал с выхода имитационной модели ЭКГ с изменением частоты сердечных сокращений и помехой «белый шум»

Дальнейшее усовершенствование имитационной модели возможно в направлении расширения функциональности за счет реализации возможности изменения временных и амплитудных характеристик отдельных зубцов ЭКГ [30], а также формирования сигналов наиболее часто встречающихся патологий.

### Выводы

Систематизация результатов обзора моделирования ЭКГ сигнала позволяет считать, что более информативными являются динамические модели искусственных ЭКГ, которые дают возможность моделировать кардиосигнал для разных случаев нарушения сердечного ритма и при различных уровнях зашумленности и типах помех.

Показано возможность синтеза в среде моделирования *Matlab/Simulink* имитационной модели генератора электрокардиографического сигнала, позволяющей формировать ЭКГ сигналы с различными характеристиками.

Анализ спектрального состава ЭКГ показал, что значимыми для формирования ЭКГ сигнала являются первые 50 гармоник.

Представленная имитационная модель позволяет генерировать искусственную ЭКГ с заданными параметрами для некоторого класса патологий и может быть использована как источник

имитационного сигнала при проверке и оптимизации различных алгоритмов анализа кардиосигнала.

#### Список литературы

1. Kovacs, P. ECG signal generator based on geometrical features / P. Kovacs // *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös Nominatae. Sectio Computatorica*. – 2012. – № 37. – P. 247-260.
2. Jokic, S. Efficient ECG Modeling using Polynomial Functions / S. Jokic, V. Delic, Z. Peric, S. Krco, D. Sakac // *Electronics and Electrical Engineering* – Kaunas: Technologija. – 2011. – N. 4(110). – P. 121-124.
3. Вайсман, М. В. Алгоритм синтеза имитационных электрокардиосигналов для испытания цифровых электрокардиографов / М. В. Вайсман, Д. А. Прилуцкий, С. В. Селищев // *Электроника*. – 2000. – № 4. – С. 21-24.
4. Белоцерковский, О. М. Способ кодирования данных ЭКГ в модели контурного и динамического анализа ЭКГ / О. М. Белоцерковский, А. В. Виноградов, Э. Э. Галатян, А. С. Тарасов, С. В. Шебко // *Компьютер и мозг. Новые технологии*. – М.: Наука, 2005. – С. 241-255.
5. Костенков, С. Ю. Методика формирования математических моделей электрофизиологических сигналов / С. Ю. Костенков // *Научно-методический журнал: XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс Периодическое научное издание Серия: «Технические науки. Информационные технологии»*. – Пенза 03(19). – 2014. – С. 125-132.
6. Савостин, А. А. Моделирование типичного электрокардиосигнала человека / А. А. Савостин, В. П. Ивель // *Международный научнотехнический журнал «Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан»*. – Алматы, 2 (32) – 2009.
7. Никифоров, П. Л. Модель электрокардиографического сигнала на основе совокупности колокольных импульсов / П. Л. Никифоров // *Вестник молодых ученых. Сер. Техн. Наук*. – 1998. – N 1. – С. 64-68.
8. Parvaneh, S. Electrocardiogram Synthesis Using a Gaussian Combination Model (GCM) / S. Parvaneh, M. Pashna // *Computers in Cardiology*. – 2007. – Iss.34. – P. 621-624.
9. Абрамов, М. В. Аппроксимации экспонентами временного кардиологического ряда на основе ЭКГ М. В. Абрамов // *Вестник кибернетики*. – Тюмень, ИПОС СО РАН. – 2010. – N 9. – С. 85-91.
10. Беклер, Т. Ю. Моделирование искусственных электрокардиограмм нормальной и патологической формы / Т. Ю. Беклер // *Кибернетика и вычисл. техника*. – 2012. – Вып. 169. – С. 19-33.
11. Пипин, В. В. Анализ динамических моделей и реконструкций ЭКГ при воздействии космо- и геофизических факторов / В. В. Пипин, М. В. Рагульская, С. М. Чибисов // *Международ. журн. прикладных и фундаментальных исследований*. – 2009. – No 5. – С. 17-24.
12. Файнзильберг, Л. С. Компьютерный анализ и интерпретация электрокардиограмм в фазовом пространстве / Л. С. Файнзильберг // *Системні дослідження та інформаційні технології*. – 2004. – № 1. – С. 32-46.
13. Файнзильберг, Л. С. Математическая модель порождения искусственной электрокардиограммы с заданными амплитудно-временными характеристиками информативных фрагментов / Л. С. Файнзильберг, Т. Ю. Беклер, Г. А. Глушаускене // *Проблемы управления и информатики*. – 2011. – № 5. – С. 61-72.
14. Fainzilberg, L. S. Generalized method of processing cyclic signals of complex form in multidimension space of parameters / L. S. Fainzilberg // *Journal of automation and information sciences*. – 2015. – Vol. 47. – Iss. 3. – P. 24-39.
15. McSharry, P. A dynamical model for generating synthetic electro cardiogram signals / P. McSharry, G. Clifford, L. Tarassenko et al. // *IEEE Transaction On biomedical Engineering*. – 2003. – N 3. – P. 289-294.
16. Clifford, G. D. Advanced Methods and tools for ECG Data Analysis / G. D. Clifford, F. Azuaje, P. E. McSharry // *Artech House*. – 2006. – P. 384.
17. Дегтярев, С. В. Классификация состояния сердечно-сосудистой системы по анализу фазового портрета двух кардиосигналов / С. В. Дегтярев, С. А. Филлист, В. С. Титов, А. Ф. Рыбочкин // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. – Серия: Медицина. Фармация*. – 2013. – № 11(154). – Выпуск 22/1. – С. 65-72.
18. Казаков, Д. В. Квазипериодическая двухкомпонентная динамическая модель для синтеза кардиосигнала с использованием временных рядов и метода Рунге-Кутты четвертого порядка / Д. В. Казаков // *Компьютерные исследование и моделирование*. – 2012. – Т. 4. – № 1. – С. 143-154.
19. McSharry, P. M. A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals / P. M. McSharry, G. D. Clifford, L. Tarassenko and L. A. Smith // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. – 50(2003). – P. 289-294.
20. Sayadi, O. Synthetic ECG generation and Bayesian filtering using a Gaussian wave-based dynamical model / O. Sayadi, M. B. Shamsollahi, G. D. Clifford // *Physiological Measurement*. – 31(2010), – P. 1309-1329.
21. Kovacs, Peter. ECG Signal Generator Based On Geometrical Features / Peter Kovacs // *Annales Univ. Sci. Budapest*. – 37(2012). – P. 247-260.
22. Дорош, Д. В. Моделирование алгоритмов спектрального анализа электрокардиографических сигналов с признаками нарушения сердечного ритма в базисах Фурье и Уолша / Д. В. Дорош, Г. Л. Кучмий, О. В. Бойко, О. И. Дорош // *Биомед. Инженерия и электроника*. – 2012. – N1. – 5 с.
23. Якушенко, Е. С. Программа моделирования ЭКГ в среде LabVIEW / Е. С. Якушенко // *Биотехносфер*. – 2012. – №3-4. – С. 64-67.
24. Tanmaya, Ch. Analysis of ECG Signal for Detecting Heart Blocks Using Signal Processing Techniques / Ch. Tanmaya, N. Syamala, P. Rajesh, B. Pavannadh, B. Sridhar // *IJIRCCCE*. – 2016. – vol.4. – 3. – P.3778-3784.
25. McSharry, P. E. Open-source software for generating electrocardiogram signals / P. E. McSharry, G. D. Clifford // *ARXIV preprints 0406017*. – 2004.
26. Joseph Ackora - Prah. An Artificial ECG Signal Generating Function in MATLAB / Joseph Ackora - Prah, Anthony Y. Aidoo // *Applied Mathematical Sciences*. – Vol. 7. – 2013. – No. 54 – P. 2675-2686.
27. Lukáč, O. Ondráček. Using Simulink and MATLAB for real time ECG signal processing / O. Ondráček Lukáč // *Conference MATLAB*. – 2012.
28. Файнзильберг, Л. С. Имитационные модели порождения искусственных электрокардиограмм в условиях внутренних и внешних возмущений / Л. С. Файнзильберг // *Journal of Qafqaz University* –



*Mathematics and Computer Science*. – 2012. – № 34. – 92-104.

29. The research resource for complex physiologic signals. URL: <https://www.physionet.org/>.
30. Шишкин, М. А. Нечеткая система определения параметров QRS-комплекса ЭКГ в телемедицине / М. А. Шишкин, К. В. Колесник // Труды XVI Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии: СИЭТ-2015». – 2015. – Т.1. – С.42-43.

#### Bibliography (transliterated)

1. Kovacs, P. ECG signal generator based on geometrical features. *Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eotvos Nominatae. Sectio Computatorica*, 2012, 37, 247-260.
2. Jokic, S. Delic, V., Peric, Z., Krco, S., Sakac, D. Efficient ECG Modeling using Polynomial Functions. *Electronics and Electrical Engineering*, Kaunas, Technologija, 2011, 4(110), 121-124.
3. Vaysman, M. V., Prilutskiy, D. A., Selyshev, S. V. Algoritm sinteza imitatsionnikh elektrokardiosignalov dlia ispitania tsifrovikh elektrokardiograf. *Elektronika*, 2000, 4, 21-24.
4. Belotserkovskiy, O. M., Vinogradov, A. V., Galatian, E. E., Tarasov, A. S., Shebko, S. V. Sposob kodirovaniya dannikh EKG v modeli konturnogo I dinamicheskogo analiza EKG. *Komp'uter i mozg. Novie tekhnologii*, M., Nauka, 2005, 241-255.
5. Kostenkov, S. Y. Metodika formirovaniya matevaticeskikh modeley elektrofiziologicheskikh signalov. Nauchno-metodicheskii zhurnal: XXI vek: itogi proshlogo i problemi nastoyashego plus. *Periodicheskoe nauchnoe izdanie, seria «Tekhnicheskie nauki. Informatsionnie tekhnologii»*. Penza, 2014, 03(19), 125-132.
6. Savostin, A. A., Ivel, V. P. Modelirovanie tipichnogo elektrokardiosignala cheloveka. *Mezhdunarodniy nauchnotekhnicheskii zhurnal «Vestnik Natsionalnoy inzhenernoy akademii Respubliki Kazakhstan»*, Almati, 2009, 2 (32).
7. Nikiforov, P. L. Model elektrokardiograficheskogo signala na osnove sovopnosty kolokolnikh impuls. *Vestnik molodikh uchenirh. Ser. Tekhn. Nauk.*, 1998, 1, 64-68.
8. Parvaneh, S., Pashna, M. Electrocardiogram Synthesis Using a Gaussian Combination Model (GCM). *Computers in Cardiology*, 2007, 34, 621-624.
9. Abramov, M. V. Approksimatsii eksponentami vremennogo kardiologicheskogo riada na osnove EKG. *Vestnik kibernetiki*, Tumen, 2010, 9, 85-91.
10. Bekler, T. Y. Modelirovanie iskustvennikh elektrokardiogramm normalnoy i patologicheskoy formi. *Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika*, 2012, 169, 19-33.
11. Pipin, V. V., Ragulskaya, M. V., Chibisov, S. M. Analiz dinamicheskikh modeley i rekonstruktsiy EKG pri vozdeystvii kosmo- i geofizicheskikh fakt. *Mezhdunar. zhurn. prikladnikh i fundamentalnikh issledovaniy*, 2009, 5, 17-24.
12. Fainzilberg, L. S. Komp'uterniy analiz i interpretatsiya elektrokardiogramm v fazovom prostranstve. *Sistemni doslidlzhennia ta informatsiyni tekhnologii*, 2004, 1, 32-46.
13. Fainzilberg, L. S., Bekler, T. Y., Glushauskane, G. A. Matematicheskaya model porozhdeniya iskustvennoy elektrokardiogrammi s zadannimi amplitudno-vremennimi kharakteristikami informativnikh fragmentov. *Problemi upravleniya i informatiki*, 2011, 5, 61-72.
14. Fainzilberg, L. S. Generalized method of processing cyclic signals of complex form in multidimension space of parameters. *Journal of automation and information sciences*, 2015, 47, 3, 24-39.
15. McSharry, P. A., Clifford, G., Tarassenko, L. Dynamical model for generating synthetic electro cardiogram signals. *IEEE Transaction On biomedical Engineering*, 2003, 3, 289-294.
16. Clifford, G. D., Azuaje, F., McSharry, P. E. Advanced Methods and tools for ECG Data Analysis, Artech House, 2006, 384.
17. Degtiariov, S. V., Filist, S. A., Titov, V. S. Ribochkin, A. F. Klassifikatsiya sostoyaniya serdechno-sosudistoy sistemi po analizu fazovogo portreta dvukh kardiotsignalov. *Nauchnie vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Meditsina. Farmatsiya*, 2013, 11 (154), 22/1, 65-72.
18. Kazakov, D. V. Kvaziperiodicheskaya dvukhkomponentnaya dinamicheskaya model dlia sinteza kardiotsignala s ispolzovaniem vremennikh riadov i metoda Runge-Kutta chetvertogo poriadka. *Komp'uternie issledovanie i modelirovanie*, 2012, 4, 1, 143-154.
19. McSharry, P. M., Clifford, G. D., Tarassenko L., Smith, L. A. A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2003, 50, 289-294.
20. Sayadi, O., Shamsollahi, M. B., Clifford, G. D. Synthetic ECG generation and Bayesian filtering using a Gaussian wave-based dynamical model. *Physiological Measurement*, 2010, 31, 1309-1329.
21. Kovacs, Peter. ECG Signal Generator Based On Geometrical Features. *Annales Univ. Sci. Budapest*, 2012, 37, 247-260.
22. Dorosh, D. V., Kuchmiy, G. L., Boyko, O. V., Dorosh O. I. Modelirovanie algoritmov spektralnogo analiza elektrokardiograficheskikh signalov s priznakami narusheniya serdechnogo ritma v bazisakh Fur'e i Uolsha. *Biomed. Inzheneriya i elektronika*, 2012, 1, 5.
23. Yakushenko, E. S. Programma modelirovaniya EKG v srede LabVIEW. *Biotekhnosfer*, 2012, 3-4, 64-67.
24. Tanmaya, Ch., Syamala, N., Rajesh, P., Pavannadh, B., Sridhar, B. Analysis of ECG Signal for Detecting Heart Blocks Using Signal Processing Techniques. *IJIRCCCE*, 2016, 4, 3, 3778-84.
25. McSharry, P. E., Clifford, G. D. Open-source software for generating electrocardiogram signals. *ARXIV preprints* 0406017, 2004.
26. Ackora-Prah, Joseph, Aidoo, Anthony Y. An Artificial ECG Signal Generating Function in MATLAB. *Applied Mathematical Sciences*, 2013, 7, 54, 2675-2686.
27. Lukáč, O. Ondráček. Using Simulink and MATLAB for real time ECG signal processing. *Conference MATLAB*, 2012.
28. Fainzilberg, L. S. Imitatsionnie modeli porozhdeniya iskustvennikh elektrokardiogramm v usloviyakh vnatrennikh i vneshnikh vozmushcheniy. *Journal of Qafqaz University – Mathematics and Computer Science*, 2012, 34, 92-104.
29. The research resource for complex physiologic signals. URL: <https://www.physionet.org/>
30. Shishkin, M. A., Kolesnik, K. V. Nечеткая система определения параметров QRS-комплекса ЭКГ в телемедицине. *Trudi XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye informatsionnie i elektronnie tekhnologii: SIET-2015»*, 2015, 1, 42-43.

### Сведения об авторах (About authors)

**Шишкин Михаил Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры промышленной и биомедицинской электроники, г. Харьков, Украина; e-mail: m.shishkin1966@gmail.com.

**Mykhailo Shyshkin** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Associate Professor of Department of Industrial and Biomedical Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: m.shishkin1966@gmail.com.

**Бутова Ольга Анатольевна** – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры промышленной и биомедицинской электроники, г. Харьков, Украина; e-mail: cherie\_2812@gmail.com.

**Olha Butova** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Associate Professor of Department of Industrial and Biomedical Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: cherie\_2812@gmail.com.

**Фетюхина Людмила Викторовна** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры промышленной и биомедицинской электроники, г. Харьков, Украина; e-mail: lulu2000@ukr.net.

**Liudmyla Fetiukhina** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Associate Professor of Department of Industrial and Biomedical Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: lulu2000@ukr.net.

**Ахизер Елена Борисовна** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры компьютерной математики и анализа данных, г. Харьков, Украина; e-mail: akhizer.cmds@gmail.com.

**Olena Akhizer** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Professor of Department of Industrial and Biomedical Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: akhizer.cmds@gmail.com.

**Дунаевская Ольга Игоревна** – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры компьютерной математики и анализа данных, г. Харьков, Украина; e-mail: dunaevskaya.olga.khpi@gmail.com.

**Olha Dunaievskaya** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D), Associate Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Associate Professor of Department of Industrial and Biomedical Electronics, Kharkiv, Ukraine; e-mail: dunaevskaya.olga.khpi@gmail.com.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Шишкин, М. А.** Матлаб модель генератора ЭКГ сигнала на основе частотного преобразования / **М. А. Шишкин, О. А. Бутова, Л. В. Фетюхина, Е. Б. Ахизер, О. И. Дунаевская** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 1. – С. 140-147. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.20.

*Please cite this article as:*

**Shyshkin, M., Butova, O., Fetiukhina, L., Akhizer, O., Dunaievskaya, O.** Matlab ECG signal model based on frequency transformation. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, **26** (1302), 1, 140-147, doi:10.20998/2413-4295.2018.26.20.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Шишкін, М. А.** Матлаб модель генератора ЕКС на основі частотного перетворення / **М. А. Шишкін, О. А. Бутова, Л. В. Фетюхіна, О. Б. Ахізер, О. І. Дунаєвська** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 26 (1302). – Т. 1. – С. 140-147. – doi:10.20998/2413-4295.2018.26.20.

**АНОТАЦІЯ** Запропоновано метод побудови Matlab / Simulink моделі генератора електрокардіографічного сигналу на основі аналізу частотного спектра і формування відповідних компонент, що реалізують суперпозицію сигналів необхідних гармонійних складових. Метою роботи є синтез такого блоку із змінними параметрами, який би міг використовуватися в якості джерела сигналу при імітаційному моделюванні різних кардіологічних систем. В ході роботи були отримані рішення, що дозволяють генерувати кардіографічний сигнал найбільш часто зустрічаються патологій, моделювати варіабельність серцевого ритму і вплив найбільш поширених перешкод.

**Ключові слова:** імітаційне моделювання; Matlab; електрокардіосигнал; дискретне перетворення Фур'є; варіабельність серцевого ритму.

*Поступила (received) 29.06.2018*